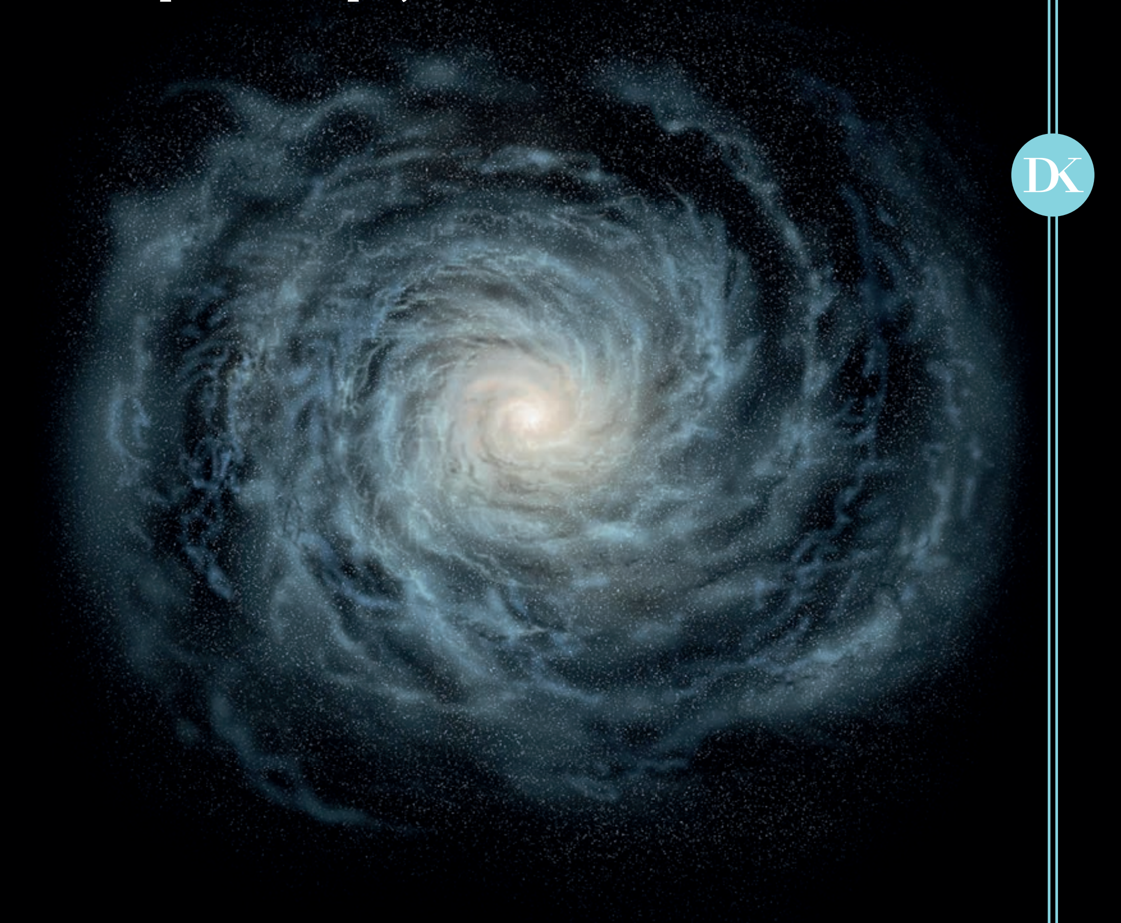
DRAKONTOS

El tejido del cosmos

Espacio, tiempo y la textura de la realidad



DK

Brian Greene

CRÍTICA

EL TEJIDO DEL COSMOS

Espacio, tiempo y la textura
de la realidad

Brian Greene

Traducción castellana de
Javier García Sanz


CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: mayo de 2006
Primera edición en esta nueva presentación: junio de 2016

El tejido del cosmos. Espacio, tiempo y la textura de la realidad
Brian Greene

Título original: *The Fabric of the Cosmos. Space, Time and the Texture of Reality*

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9892-982-9
Depósito legal: B. 10.662 - 2016
2016. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

Índice

Segunda parte
TIEMPO Y EXPERIENCIA

Tercera parte
ESPACIOTIEMPO Y COSMOLOGÍA

Cuarta parte
ORÍGENES Y UNIFICACIÓN

1

Caminos a la realidad

El espacio, el tiempo y por qué las cosas son como son

Ninguno de los libros de la vieja y polvorienta librería de mi padre estaba prohibido. Pese a todo, cuando yo era pequeño nunca vi a nadie coger uno. La mayoría de ellos eran gruesos volúmenes —una historia general de la civilización, volúmenes a juego de grandes obras de la literatura occidental, muchos otros que ya no puedo recordar— que parecían casi fundidos con las estanterías que se combaban ligeramente tras décadas de tenaz soporte. Pero en la balda más alta había un pequeño libro que, de vez en cuando, captaba mi atención porque parecía tan fuera de lugar como Gulliver entre los Brobdingnagianos. Visto en retrospectiva, no estoy muy seguro de por qué esperé tanto antes de echarle una mirada. Quizá, a medida que pasaban los años, los libros se parecían menos al material que uno lee y más a las reliquias familiares que uno admira de lejos. Finalmente, esa reverencia dejó paso a la arrogancia de la adolescencia. Tomé el pequeño libro, le quité el polvo y lo abrí por la primera página. Las primeras líneas eran, como mínimo, llamativas.

«Sólo hay un problema realmente filosófico, y es el del suicidio», empezaba el texto. Me sobrecogí. «Que el mundo tenga o no tres dimensiones o que haya nueve o doce categorías mentales», continuaba, «viene después»; tales cuestiones, explicaba el texto, eran parte del juego al que jugaba la Humanidad, pero sólo merecían atención una vez que hubiese sido dirimida la cuestión verdadera. El libro era *El mito de Sísifo*, y estaba escrito por el filósofo de origen argelino y pre-

mio Nobel Albert Camus. Tras un momento de desconcierto, la gelidez de sus palabras se derritió a la luz de la comprensión. Sí, por supuesto, pensé. Uno puede sopesar esto o analizar aquello hasta que las ranas críen pelo, pero la cuestión real es si todas estas cavilaciones y análisis le convencen a uno de que la vida es digna de vivirse. A eso es a lo que se reduce todo. Todo lo demás son detalles.

Mi encuentro casual con el libro de Camus debe haber ocurrido durante una etapa particularmente impresionable porque sus palabras me han acompañado más que cualquier otra cosa que yo haya leído. Muchas veces he imaginado cómo responderían a la más importante de todas las cuestiones algunas personas a las que había conocido, o había oído hablar, o había visto en televisión. Visto en retrospectiva, sin embargo, fue su segunda afirmación —relativa al papel del progreso científico— la que para mí se mostró particularmente desafiante. Camus reconocía el valor de comprender la estructura del universo, pero por lo que yo podía entender, rechazaba la posibilidad de que dicha comprensión pudiese suponer la más mínima diferencia para nuestro juicio sobre el valor de la vida. Por supuesto, mi lectura adolescente de la filosofía existencial era tan sofisticada como la lectura que podría hacer Bart Simpson de la poesía romántica, pero incluso así, la conclusión de Camus me dejó bastante desconcertado. Para este aspirante a físico, una valoración informada de la vida requeriría necesariamente una completa comprensión del escenario de la vida: el universo. Me recuerdo pensando en que si nuestra especie morara en refugios cavernosos enterrados en el subsuelo profundo y aún tuviera que descubrir la superficie de la Tierra, la brillante luz del Sol, una brisa oceánica y las estrellas que hay más allá, o si la evolución hubiese seguido un camino diferente y aún tuviéramos que adquirir todos los sentidos salvo el del tacto, de modo que todo lo que conociéramos viniera sólo de nuestras impresiones táctiles de nuestro entorno inmediato, o si las facultades mentales humanas dejaran de desarrollarse durante la primera infancia de modo que nuestras capacidades emocionales y analíticas nunca pasaran de las de un niño de cinco años —si nuestras experiencias sólo formaran un pálido retrato de la realidad— nuestra valoración de la vida estaría gravemente comprometida. Cuando finalmente encontrásemos nuestro camino a la superficie

de la Tierra, o cuando finalmente alcanzásemos la capacidad de ver, oír, oler, y saborear, o cuando nuestras mentes quedaran finalmente libres para desarrollarse como lo hacen normalmente, nuestra visión colectiva de la vida y el cosmos cambiaría radicalmente. Nuestra comprensión de la realidad, antes muy restringida, arrojaría una luz muy diferente sobre la más fundamental de todas las cuestiones filosóficas.

Pero, podría usted preguntar, ¿qué pasa con ello? Por supuesto, cualquier juicio serio concluiría que aunque no podamos comprender todo sobre el universo —cada aspecto del comportamiento de la materia o de la función de la vida— somos conscientes de las grandes pinceladas que adornan el lienzo de la Naturaleza. Por supuesto, como sugería Camus, los progresos en física, tales como comprender el número de dimensiones espaciales; o los progresos en neuropsicología, tales como comprender todas las estructuras organizativas del cerebro; o, para lo que nos importa, los progresos en cualquier otra empresa científica, pueden rellenar detalles importantes, pero su impacto sobre nuestra valoración de la vida y la realidad sería mínimo. Por supuesto, la realidad es lo que pensamos que es; la realidad se nos revela por nuestras experiencias.

En una u otra medida, esta visión de la realidad es la que muchos de nosotros mantenemos, aunque sólo sea de forma implícita. Ciertamente me encuentro a mí mismo pensando de esta manera en la vida cotidiana; es fácil quedar seducido por el rostro que la Naturaleza revela directamente a nuestros sentidos. Pese a todo, en las décadas transcurridas desde que tropecé por primera vez con el texto de Camus he aprendido que la ciencia moderna nos cuenta una historia muy diferente. La lección más importante que hemos sacado de la investigación científica durante el último siglo es que la experiencia humana es a menudo una guía equívoca a la verdadera naturaleza de la realidad. Apenas por encima de la superficie de lo cotidiano *hay* un mundo que apenas habíamos reconocido. Los seguidores de lo oculto, los devotos de la astrología y los que mantienen principios religiosos que hablan a una realidad más allá de la experiencia, han llegado hace tiempo, desde perspectivas muy variables, a una conclusión similar. Pero no es eso lo que yo tengo en mente. Yo me estoy refiriendo al trabajo de innovadores ingeniosos e investigadores incansables —los hombres y

mujeres de ciencia— que han quitado capa tras capa de la cebolla cósmica, enigma a enigma, y han revelado un universo que es a un tiempo sorprendente, poco familiar, excitante, elegante y completamente diferente de lo que cualquiera esperara.

Estos desarrollos no son otra cosa que detalles. Los avances fundamentales en física han obligado, y siguen obligando, a revisiones drásticas de nuestra idea del cosmos. Sigo ahora tan convencido como lo estaba hace décadas de que Camus escogió correctamente el valor de la vida como la cuestión definitiva, pero las ideas de la física moderna me han persuadido de que valorar la vida a través de las lentes de la experiencia cotidiana es como mirar un Van Gogh a través de una botella de Coca-Cola vacía. La ciencia moderna ha sido punta de lanza en un asalto tras otro a la evidencia recogida por nuestras percepciones rudimentarias, mostrando que a menudo éstas dan una idea nebulosa del mundo en que vivimos. Y así, mientras Camus separaba las cuestiones físicas y las calificaba de secundarias, yo he llegado a convencerme de que son primarias. Para mí, la realidad física fija el escenario y al mismo tiempo proporciona la iluminación para tratar la cuestión de Camus. Valorar la existencia sin tener en cuenta las ideas de la física moderna sería como luchar en la oscuridad con un adversario desconocido. Al profundizar en nuestra comprensión de la verdadera naturaleza de la realidad física, reconfiguramos profundamente nuestro sentido de nosotros mismos y nuestra experiencia del universo.

El objetivo central de este libro es explicar algunas de las más destacadas revisiones en nuestra imagen de la realidad, centrando el foco en aquellas que afectan al proyecto a largo plazo de nuestra especie para entender el espacio y el tiempo. Desde Aristóteles a Einstein, desde el astrolabio al Telescopio Espacial Hubble, desde las pirámides a los observatorios en las cimas de las montañas, espacio y tiempo han enmarcado el pensamiento desde que el pensamiento empezó. Con la llegada de la era científica moderna, su importancia ha crecido. Durante los tres últimos siglos los desarrollos en física han mostrado al espacio y al tiempo como los conceptos más desconcertantes y atractivos, y como los instrumentos más fundamentales en nuestro análisis científico del universo. Estos desarrollos han mostrado también que

espacio y tiempo encabezan la lista de las construcciones científicas de épocas pasadas que están siendo fantásticamente revisadas por la investigación de vanguardia.

Para Isaac Newton, espacio y tiempo simplemente eran: constituían un escenario cósmico universal e inerte en el que se representaban los sucesos del universo. Para su contemporáneo y frecuente rival Gottfried Wilhelm Leibniz, «espacio» y «tiempo» eran meramente el vocabulario de las relaciones entre dónde estaban los objetos y cuándo tenían lugar los sucesos. Nada más. Pero para Albert Einstein, espacio y tiempo eran la materia prima subyacente a la realidad. Con sus teorías de la relatividad, Einstein cambió nuestro pensamiento sobre espacio y tiempo y mostró el papel principal que tenían en la evolución del universo. Desde entonces, espacio y tiempo han sido las joyas resplandecientes de la física. Son a un tiempo familiares y desconcertantes; entender completamente el espacio y el tiempo se ha convertido en el desafío más importante y el premio más buscado de la física.

Los desarrollos que cubriré en este libro entretejen de maneras diversas el tejido del espacio y el tiempo. Algunas ideas desafiarán aspectos del espacio y el tiempo tan básicos que durante siglos, si no milenios, han parecido incuestionables. Otras buscarán el vínculo entre nuestra comprensión teórica del espacio y el tiempo y las características que normalmente experimentamos. Y otros plantearán cuestiones incomprensibles dentro de los confines limitados de las percepciones ordinarias.

Hablaremos sólo mínimamente de filosofía (y nada en absoluto del suicidio y el significado de la vida). Pero no nos limitaremos en nuestra búsqueda científica por resolver los misterios del espacio y el tiempo. Desde la más pequeña mota de polvo y los primeros momentos del universo hasta sus más lejanos confines y más distante futuro, examinaremos el espacio y el tiempo en entornos familiares y lejanos, con una mirada permanente en busca de su verdadera naturaleza. Puesto que la historia del espacio y el tiempo está aún por escribirse completamente, no llegaremos a ninguna valoración final. Pero encontraremos una serie de desarrollos —algunos muy extraños, otros profundamente satisfactorios, algunos verificados experimentalmente, otros totalmente especulativos— que mostrarán cuán cerca hemos llegado a

envolver con nuestras mentes la estructura del cosmos y tocar la verdadera textura de la realidad.

La realidad clásica

Los historiadores discrepan sobre cuándo comenzó exactamente la era científica moderna, pero ciertamente ya estaba en marcha y a buen paso en la época en que Galileo Galilei, René Descartes e Isaac Newton se habían expresado. En aquellos días se estaba forjando la nueva mente científica, a medida que las pautas encontradas en los datos terrestres y astronómicos dejaban cada vez más claro que hay un orden para todas las idas y venidas del cosmos, un orden accesible al razonamiento cuidadoso y el análisis matemático. Estos primeros pioneros del pensamiento científico moderno argumentaban que, cuando se examinan de la forma correcta, los sucesos en el universo son no sólo explicables sino también predecibles. Se había revelado el poder de la ciencia para predecir aspectos del futuro de forma consistente y cuantitativa.

El estudio científico temprano se centraba en los tipos de cosas que uno podría ver o experimentar en la vida cotidiana. Galileo dejó caer pesos desde una torre inclinada (o así dice la leyenda) y observó bolas que rodaban por superficies inclinadas; Newton estudió manzanas que caían (o así dice la leyenda) y la órbita de la Luna. El objetivo de estas investigaciones era acostumbrar al oído científico naciente a las armonías de la Naturaleza. Por supuesto, la realidad física era la materia de la experiencia, pero el reto era oír la rima y la razón tras el ritmo y la regularidad. Muchos héroes cantados y no cantados contribuyeron al rápido e impresionante progreso, pero fue Newton quien se hizo con el espectáculo. Con un puñado de ecuaciones matemáticas sintetizó todo lo conocido sobre el movimiento en la Tierra y en los cielos, y al hacerlo compuso la partitura para lo que ha llegado a conocerse como *física clásica.*

En las décadas que siguieron a la obra de Newton, sus ecuaciones fueron desarrolladas en una elaborada estructura matemática que ampliaba de forma significativa su alcance y su utilidad práctica. La físi-

ca clásica se convirtió poco a poco en una disciplina científica madura y sofisticada. Pero brillando claramente entre todos estos avances estaba el faro de las ideas originales de Newton. Incluso hoy, más de trescientos años después, uno puede ver las ecuaciones de Newton escritas en las pizarras de las clases de introducción a la física en todo el mundo, impresas en las trayectorias de las naves espaciales calculadas en los planes de vuelo de la NASA, e inmersas dentro de los cálculos complejos de la investigación de vanguardia. Newton incluyó una gran riqueza de fenómenos físicos dentro de una única herramienta teórica.

Pero mientras formulaba sus leyes de movimiento, Newton encontró un obstáculo crítico, un obstáculo que es de particular importancia para nuestra historia (capítulo 2). Todo el mundo sabía que las cosas podían moverse, pero ¿qué pasaba con el escenario en el que tenía lugar el movimiento? Bien, eso es el espacio, hubiéramos respondido todos. Pero, replicaba Newton, ¿qué es el espacio? ¿Es el espacio una entidad física real o es una idea abstracta nacida de la lucha humana por abarcar el cosmos? Newton comprendió que había que responder a esta pregunta clave, porque sin adoptar una postura sobre el significado de espacio y tiempo sus ecuaciones que describen el movimiento no tendrían sentido. La comprensión requiere contexto; la intuición debe estar anclada.

Y así, con unas pocas frases breves en sus *Principia Mathematica*, Newton articuló una idea del espacio y el tiempo, declarándolos entidades absolutas e inmutables que proporcionaban al universo un escenario rígido e invariable. Según Newton, espacio y tiempo proporcionaban un andamiaje invisible que daba forma y estructura al universo.

No todos estaban de acuerdo. Algunos argumentaban convincentemente que tenía poco sentido asignar existencia a algo que uno no puede sentir, captar o ser afectado por ello. Pero el poder explicatorio y predictivo de las ecuaciones newtonianas acallaba a los críticos. Durante los doscientos años siguientes, su concepto absoluto del espacio y el tiempo fue un dogma.

La realidad relativista

La visión del mundo newtoniana clásica era gratificante. No sólo describía los fenómenos naturales con sorprendente exactitud, sino que los detalles de la descripción —las matemáticas— estaban en buen acuerdo con la experiencia. Si usted empuja algo, lo acelera. Cuanto más fuerte golpea un balón, mayor es el impacto cuando éste choca con una pared. Si usted presiona algo, siente que eso le devuelve la presión. Cuanto más masivo es algo, más fuerte es su atracción gravitatoria. Éstas están entre las propiedades más básicas del mundo natural, y cuando uno aprende la herramienta de Newton, las ve representadas en sus ecuaciones, claras como la luz del día. A diferencia de los galimatías inescrutables de una bola de cristal, el funcionamiento de las leyes de Newton estaba a la vista para todos los que tuviesen una mínima formación matemática. La física clásica proporcionaba una base rigurosa para la intuición humana.

Newton había incluido la fuerza de gravedad en sus ecuaciones, pero hubo que esperar a la década de 1860 para que el científico escocés James Clerk Maxwell ampliara la herramienta de la física clásica para tener en cuenta fuerzas eléctricas y magnéticas. Para hacerlo, Maxwell necesitó ecuaciones adicionales y unas matemáticas cuya comprensión plena requería un mayor nivel de formación. Pero sus nuevas ecuaciones fueron tan satisfactorias para explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos como lo fueron las de Newton para la descripción del movimiento. A finales del siglo XIX era evidente que los secretos del universo no podían competir con el poder del intelecto humano.

De hecho, con la incorporación satisfactoria de la electricidad y el magnetismo hubo una sensación creciente de que la física teórica pronto estaría completa. La física, sugerían algunos, iba a convertirse rápidamente en una disciplina acabada y sus leyes pronto estarían grabadas en piedra. En 1894, el reputado físico experimental Albert Michelson comentaba que «la mayoría de los grandes principios subyacentes han sido firmemente establecidos» y citaba a un «eminente científico» —muchos creen que era el físico británico lord Kelvin—

que afirmaba que todo lo que quedaba por hacer era completar detalles en la determinación de algunos números con un mayor número de cifras decimales.[1] En 1900, el propio Kelvin señaló que «dos nubes» se cernían sobre el horizonte: una tenía que ver con las propiedades del movimiento de la luz y la otra con aspectos de la radiación que emiten los objetos cuando se calientan.[2] Pero la sensación general era que se trataba de meros detalles que, sin duda, pronto serían abordados.

En menos de una década, todo cambió. Como se había previsto, los dos problemas que Kelvin había planteado fueron rápidamente abordados, pero no eran en absoluto menores. Cada uno de ellos inició una revolución, y cada uno de ellos exigió una reescritura fundamental de las leyes de la Naturaleza. Los conceptos clásicos de espacio, tiempo y realidad —los que durante cientos de años no sólo habían funcionado, sino que también habían expresado de forma concisa nuestra sensación intuitiva del mundo— fueron derrocados.

La revolución de la relatividad, que abordaba la primera de las «nubes» de Kelvin, data de 1905 y 1915, cuando Albert Einstein completó sus teorías de la relatividad especial y general (capítulo 3). Mientras luchaba con enigmas que implicaban a la electricidad, el magnetismo y el movimiento de la luz, Einstein se dio cuenta de que la idea de Newton de espacio y tiempo, la piedra angular de la física clásica, era errónea. En el curso de unas intensas semanas en la primavera de 1905 él determinó que el espacio y el tiempo no son independientes y absolutos, como Newton había pensado, sino que están mezclados de una forma que contradice la experiencia común. Unos diez años más tarde, Einstein clavó un último clavo en el ataúd newtoniano al reescribir las leyes de la física gravitatoria. Esta vez, Einstein no sólo demostró que espacio y tiempo son parte de un todo unificado, sino que también demostró que deformándose y curvándose participan en la evolución cósmica. Lejos de ser las estructuras rígidas e inmutables imaginadas por Newton, espacio y tiempo son, en la reformulación de Einstein, flexibles y dinámicos.

Las dos teorías de la relatividad están entre los logros más preciosos de la Humanidad, y con ellos Einstein derribó la idea de Newton de la realidad. Aunque la física newtoniana parecía captar matemáticamente mucho de lo que experimentamos físicamente, la realidad

que describe no es la realidad de nuestro mundo. La nuestra es una realidad relativista. Pero, debido a que la desviación entre la realidad clásica y la relativista sólo se manifiesta en condiciones extremas (como extremos de velocidad y gravedad), la física newtoniana sigue proporcionando una aproximación que se muestra extraordinariamente precisa y útil en muchas circunstancias. Pero utilidad y realidad son valores muy diferentes. Como veremos, aspectos del espacio y tiempo que para muchos de nosotros son una segunda naturaleza han resultado ser productos de una perspectiva newtoniana falsa.

La realidad cuántica

La segunda anomalía a la que se refería lord Kelvin llevó a la revolución cuántica, una de las grandes convulsiones a la que se ha visto sometido el conocimiento humano moderno. Cuando se apagaron los fuegos y se disipó el humo, el barniz de la física clásica aparecía chamuscado en el marco recién emergente de la realidad cuántica.

Una característica central de la física clásica es que si usted conoce las posiciones y velocidades de todos los objetos en un instante particular, las ecuaciones de Newton, junto con su puesta al día maxwelliana, pueden decirle cuáles serán sus posiciones y velocidades en cualquier otro instante, ya sea pasado o futuro. Sin equivocación, la física clásica declara que el pasado y el futuro están grabados en el presente. Esta característica es también compartida por la relatividad especial y la general. Aunque los conceptos relativistas de pasado y futuro son más sutiles que sus familiares contrapartidas clásicas (capítulos 3 y 5), las ecuaciones de la relatividad, junto con una evaluación completa del presente, los determinan por completo.

Sin embargo, en la década de 1930 los físicos se vieron obligados a introducir todo un nuevo esquema conceptual llamado *mecánica cuántica*. De forma completamente inesperada, encontraron que sólo las leyes cuánticas eran capaces de resolver un montón de rompecabezas y explicar una gran variedad de datos recién adquiridos procedentes de los átomos y el reino subatómico. Pero incluso si usted hace las medidas más perfectas posibles de cómo son hoy las cosas, lo más

que puede esperar es predecir la *probabilidad* de que las cosas sean de una manera u otra en un instante escogido en el futuro, o de que las cosas fueron de una manera u otra en algún instante escogido en el pasado. El universo, según la mecánica cuántica, *no* está grabado en el presente; el universo, según la mecánica cuántica, participa en un juego de azar.

Aunque sigue habiendo controversia sobre cómo deberían interpretarse exactamente estos desarrollos, la mayoría de los físicos están de acuerdo en que la probabilidad está profundamente entretejida en el tejido de la realidad cuántica. Mientras que la intuición humana, y su encarnación en la física clásica, imagina una realidad en la que las cosas son siempre decididamente de una manera *o* de otra, la mecánica cuántica describe una realidad en la que las cosas a veces se mantienen en un estado confuso entre ser parcialmente de una manera *y* parcialmente de otra. Las cosas sólo se hacen definidas cuando una observación apropiada las obliga a abandonar las posibilidades cuánticas y asentarse en un resultado específico. Sin embargo, el resultado que se hace real no puede predecirse: sólo podemos predecir las probabilidades de que las cosas resulten de una manera o de otra.

Esto, hablando francamente, es muy extraño. No estamos acostumbrados a una realidad que permanece ambigua hasta que es percibida. Pero la singularidad de la mecánica cuántica no se detiene aquí. Tan sorprendente al menos como ésta es una característica que se remonta a un artículo escrito por Einstein en 1935 con dos colegas más jóvenes, Nathan Rosen y Boris Podolsky, que pretendía ser un ataque a la teoría cuántica.[3] Con los giros posteriores del progreso científico, el artículo de Einstein puede considerarse ahora como uno de los primeros en señalar que la mecánica cuántica —si se toma al pie de la letra— implica que algo que uno observa aquí puede estar *instantáneamente* ligado a algo que está sucediendo allí, independientemente de la distancia. Einstein consideraba absurdas tales conexiones instantáneas e interpretaba su emergencia de las matemáticas de la teoría cuántica como una prueba de que la teoría necesitaba mucho desarrollo antes de que alcanzase una forma aceptable. Pero en la década de 1980, cuando tanto los desarrollos teóricos como los tecnológicos permitieron someter a escrutinio experimental a estos supuestos absurdos

cuánticos, los investigadores confirmaron que *puede haber* un vínculo instantáneo entre lo que sucede en lugares ampliamente separados. En condiciones de laboratorio prístinas, lo que Einstein consideraba absurdo sucede realmente (capítulo 4).

Las implicaciones de estas características de la mecánica cuántica para nuestra imagen de la realidad son tema de investigación en curso. Muchos científicos, yo mismo incluido, las ven como parte de una radical puesta al día cuántica del significado y las propiedades del espacio. Normalmente, la separación espacial implica independencia física. Si usted quiere controlar lo que está sucediendo en el otro lado de un campo de fútbol, tiene que ir allí, o, como mínimo, tiene que enviar a alguien o algo (el ayudante del entrenador, moléculas de aire que transmiten el habla, un destello de luz para llamar la atención de alguien, etc.) que cruce el campo para transmitir su influencia. Si no lo hace —si se queda espacialmente aislado—usted no tendrá ningún impacto, puesto que el espacio interpuesto asegura la ausencia de una conexión física. La mecánica cuántica desafía esta visión revelando, al menos en ciertas circunstancias, una capacidad para trascender el espacio; las conexiones cuánticas de largo alcance pueden puentear la separación espacial. Dos objetos pueden estar muy alejados en el espacio, pero por lo que concierne a la mecánica cuántica es como si fueran una única entidad. Además, debido al rígido vínculo entre espacio y tiempo encontrado por Einstein, las conexiones cuánticas también tienen tentáculos temporales. Pronto vereremos algunos experimentos ingeniosos y realmente maravillosos que han explorado recientemente varias de las sorprendentes interconexiones espaciotemporales implicadas por la mecánica cuántica y que, como veremos, desafían fuertemente la visión del mundo clásica e intuitiva que muchos de nosotros mantenemos.

A pesar de estas ideas impresionantes, sigue habiendo una característica muy básica del tiempo —que parece tener una dirección que apunta del pasado al futuro— para la que ni la relatividad ni la mecánica cuántica han ofrecido una explicación. En su lugar, el único progreso convincente ha venido de la investigación en un área de la física llamada *cosmología*.

La realidad cosmológica

Abrir nuestros ojos a la verdadera naturaleza del universo ha sido siempre uno de los objetivos fundamentales de la física. Es difícil imaginar una experiencia más reveladora que aprender, como hemos hecho durante el último siglo, que la realidad que experimentamos es tan sólo un pálido reflejo de la realidad que es. Pero la física tiene también el encargo igualmente importante de explicar los elementos de realidad que de verdad experimentamos. De nuestro rápido paseo a través de la historia de la física podría parecer que esto ya se ha conseguido, que la experiencia ordinaria es explicada por los avances científicos previos al siglo XX. En cierta medida, esto es cierto. Pero incluso cuando se trata de lo cotidiano, estamos lejos de una comprensión completa. Y entre las características de la experiencia común que se han resistido a una explicación completa hay una que incide en uno de los más profundos misterios no resueltos de la física moderna: el misterio que el gran físico británico sir Arthur Eddington llamó la *flecha del tiempo*.[4]

Damos por supuesto que hay una dirección en la forma en que las cosas se despliegan en el tiempo. Los huevos se rompen, pero no se desrompen; las velas se consumen, pero no se recomponen; los recuerdos son del pasado, pero nunca del futuro; las personas envejecen, pero no rejuvenecen. Estas asimetrías gobiernan nuestras vidas; la distinción entre hacia delante y hacia atrás en el tiempo es un elemento dominante de la realidad de la experiencia. Si hacia delante y hacia atrás en el tiempo mostrasen la misma simetría que vemos entre izquierda y derecha, o delante y detrás, el mundo sería irreconocible. Los huevos se desromperían con tanta frecuencia como se rompían; las velas se reharían con tanta frecuencia como se consumían; recordaríamos tanto del futuro como del pasado; las personas rejuvenecerían con tanta frecuencia como envejecían. Ciertamente, semejante realidad con simetría temporal no es nuestra realidad. Pero ¿de dónde procede esta asimetría temporal? ¿Qué es responsable de la más básica de las propiedades del tiempo?

El caso es que las leyes de la física aceptadas y conocidas no

muestran tal asimetría (capítulo 6); cada dirección del tiempo, hacia delante y hacia atrás es tratada por las leyes sin distinción. *Y ése es el origen de un enorme interrogante.* Nada en las ecuaciones de la física fundamental muestra ningún indicio de tratar una dirección del tiempo de forma diferente de la otra, y eso está en total contradicción con todo lo que experimentamos.[5]

Sorprendentemente, incluso si nos estamos centrando en una característica familiar de la vida cotidiana, la resolución más convincente de este desajuste entre la física fundamental y la experiencia básica requiere que contemplemos el menos familiar de los sucesos: el comienzo del universo. Esta comprensión tiene sus raíces en la obra del gran físico del siglo XIX Ludwig Boltzmann, y en los años transcurridos desde entonces ha sido desarrollada por muchos investigadores, muy especialmente el matemático británico Roger Penrose. Como veremos, condiciones físicas especiales en el nacimiento del universo (un entorno altamente ordenado en o inmediatamente después del *big bang*) pueden haber impreso una dirección en el tiempo, algo parecido a dar cuerda a un reloj retorciendo su muelle hasta un estado inicial altamente ordenado, lo que le permite ponerse en marcha. Así, en un sentido que haremos preciso, la ruptura —en oposición a la recomposición— de un huevo guarda testimonio de las condiciones en el nacimiento del universo hace unos 14.000 millones de años.

Este vínculo inesperado entre la experiencia cotidiana y el universo primitivo proporciona una idea de por qué los sucesos se desarrollan en una dirección del tiempo y nunca en la inversa, pero no resuelve por completo el misterio de la flecha del tiempo. En su lugar, desplaza el enigma al ámbito de la *cosmología* —el estudio del origen y evolución del cosmos entero— y nos obliga a descubrir si el universo tuvo realmente el comienzo altamente ordenado que requiere esta explicación de la flecha del tiempo.

La cosmología es una de las disciplinas más antiguas en cautivar a nuestra especie. Y eso no es extraño. Somos contadores de historias, y ¿qué historia puede ser más grande que la historia de la creación? Durante los últimos milenios, las tradiciones filosóficas y religiosas en todo el mundo han ofrecido muchas versiones de cómo empezaron todas las cosas, es decir, cómo empezó el universo. También la ciencia,

durante su larga historia, ha hecho pruebas en cosmología. Pero fue el descubrimiento de Einstein de la relatividad general el que marcó el nacimiento de la cosmología científica moderna.

Muy poco después de que Einstein publicara su teoría de la relatividad general, él y otros la aplicaron al universo como un todo. En pocas décadas, su investigación llevó a la herramienta tentativa para lo que ahora se denomina la *teoría del big bang*, una aproximación que explicaba satisfactoriamente muchas características de las observaciones astronómicas (capítulo 8). A mediados de la década de 1960 se acumuló evidencia en apoyo de la cosmología del *big bang*, a medida que las observaciones revelaban un brillo casi uniforme de radiación de microondas que llena el espacio —invisible a simple vista pero fácilmente medido por detectores de microondas— que estaba predicho por la teoría. Y ciertamente en la década de 1970, tras una década de examen más detallado y progreso sustancial en la determinación de cómo responden los ingredientes básicos del cosmos a cambios extremos en calor y temperatura, la teoría del *big bang* se aseguró su lugar como teoría cosmológica dominante (capítulo 9).

A pesar de sus éxitos, no obstante, la teoría tuvo reveses importantes. Tenía problemas para explicar por qué el espacio tiene la forma global revelada por observaciones astronómicas detalladas, y no ofrecía ninguna explicación de por qué la temperatura de la radiación de microondas, intensamente estudiada desde su descubrimiento, aparece completamente uniforme en el cielo. Además, lo que es de interés fundamental para la historia que estamos contando, la teoría del *big bang* no ofrecía ninguna razón convincente de por qué el universo podría haber estado altamente ordenado casi en el mismo principio, como requería la explicación para la flecha del tiempo.

Estas y otras cuestiones abiertas inspiraron un avance fundamental a finales de la década de 1970 y principios de la de 1980, conocido como *cosmología inflacionaria* (capítulo 10). La cosmología inflacionaria modifica la teoría del *big bang* insertando un estallido extraordinariamente breve de expansión sorprendentemente rápida durante los primeros momentos del universo (en este enfoque, el tamaño del universo aumentó en un factor mayor de un billón de trillones en menos de una billonésima de trillonésima de segundo). Como quedará claro,

este tremendo crecimiento del universo joven hace mucho para llenar los huecos que deja el modelo del *big bang* —explicar la forma del espacio y la uniformidad de la radiación de microondas, y también sugerir por qué el universo primitivo podría haber estado altamente ordenado— proporcionando así un avance importante hacia la explicación de las observaciones astronómicas y la flecha del tiempo que todos experimentamos (capítulo 11).

Pero a pesar de estos éxitos crecientes, durante dos décadas la cosmología inflacionaria ha estado ocultando su propio secreto embarazoso. Como la teoría del *big bang* estándar a la que modificó, la cosmología inflacionaria descansa en las ecuaciones que Einstein descubrió con su teoría de la relatividad general. Aunque volúmenes de artículos de investigación atestiguan la potencia de las ecuaciones de Einstein para describir con precisión objetos grandes y masivos, los físicos sabían que un análisis teórico preciso de objetos pequeños —tales como el universo observable cuando sólo tenía una edad de una fracción de segundo— requiere el uso de la mecánica cuántica. El problema, no obstante, es que cuando las ecuaciones de la relatividad general se combinan con las de la mecánica cuántica, el resultado es desastroso. Las ecuaciones fracasan por completo, y esto nos impide determinar cómo nació el universo y si en su nacimiento satisfacía las condiciones necesarias para explicar la flecha del tiempo.

No es exagerado describir esta situación como una pesadilla para el teórico: la ausencia de herramientas matemáticas con las que analizar un dominio vital que yace más allá de la accesibilidad experimental. Y puesto que espacio y tiempo están tan completamente entretejidos en este dominio inaccesible particular —el origen del universo— entender completamente el espacio y el tiempo requiere que encontremos ecuaciones que puedan tratar las condiciones extremas de enormes densidad, energía y temperatura características de los primeros momentos del universo. Éste es un objetivo absolutamente esencial, y un objetivo que, en opinión de muchos físicos, requiere desarrollar lo que se denomina una *teoría unificada*.

La realidad unificada

Durante los últimos siglos, los físicos han tratado de consolidar nuestra comprensión del mundo natural demostrando que fenómenos diversos y aparentemente distintos están gobernados en realidad por un único conjunto de leyes físicas. Para Einstein, este objetivo de unificación —de explicar el conjunto más amplio de fenómenos con los mínimos principios físicos— se convirtió en la pasión de su vida. Con sus dos teorías de la relatividad, Einstein unificó espacio, tiempo y gravedad. Pero este éxito sólo le animó a pensar en algo más grande. Soñó con encontrar una herramienta única y general capaz de abarcar todas las leyes de la Naturaleza. Llamó a esa herramienta una teoría unificada. Aunque de vez en cuando corrieron rumores de que Einstein había encontrado una teoría unificada, todas esas afirmaciones resultaron carecer de base; el sueño de Einstein quedó insatisfecho.

La fijación de Einstein en una teoría unificada durante sus últimos treinta años de vida le distanció de la corriente principal de la física. Muchos científicos más jóvenes pensaban que su búsqueda tenaz de la más grande de todas las teorías eran desvaríos de un gran hombre que, en sus últimos años, había tomado un camino equivocado. Pero en las décadas transcurridas desde la muerte de Einstein, un número creciente de físicos han asumido su búsqueda inacabada. Hoy, desarrollar una teoría unificada figura entre los problemas más importantes de la física teórica.

Durante muchos años, los físicos encontraron que el mayor obstáculo para hacer realidad una teoría unificada era el conflicto fundamental entre los dos mayores avances de la física del siglo XX: la relatividad general y la mecánica cuántica. Aunque estas dos herramientas se aplican normalmente en dominios muy diferentes —la relatividad general a las cosas grandes como estrellas y planetas, y la mecánica cuántica a cosas pequeñas como moléculas y átomos— cada teoría pretende ser universal y trabajar en todos los dominios. Sin embargo, como se mencionó antes, cuando quiera que la teorías se utilizan conjuntamente, sus ecuaciones combinadas generan respuestas absurdas. Por ejemplo, cuando se utiliza la mecánica cuántica con la

relatividad general para calcular la probabilidad de que tenga lugar un proceso u otro en el que intervendrá la gravedad, la respuesta que se suele encontrar no es algo como una probabilidad del 24 por 100 o el 63 por 100 o el 91 por 100; en su lugar, de las matemáticas combinadas surge una probabilidad *infinita*. Esto no significa una probabilidad tan alta que usted debería apostar todo su dinero a ella porque es un chollo. Las probabilidades mayores que el 100 por 100 no tienen significado. Los cálculos que dan una probabilidad infinita muestran simplemente que las ecuaciones combinadas de la relatividad general y la mecánica cuántica han perdido el sentido.

Los científicos han sido conscientes de la tensión entre relatividad general y mecánica cuántica durante más de medio siglo, pero durante mucho tiempo sólo unos pocos relativamente se sintieron obligados a buscar una solución. La mayoría de los investigadores utilizaban la relatividad general solamente para analizar objetos grandes y masivos, mientras reservaban la mecánica cuántica solamente para analizar objetos pequeños y ligeros, manteniendo ambas teorías a una distancia segura una de otra de modo que su hostilidad mutua no se manifestara. Durante años, esta aproximación ha permitido avances espectaculares en nuestra comprensión de cada dominio, pero no dio una paz duradera.

Unos pocos dominios —situaciones físicas extremas que son a la vez masivas y minúsculas— caen directamente en la zona desmilitarizada, requiriendo que se utilicen simultáneamente la relatividad general y la mecánica cuántica. El centro de un agujero negro, en el que una estrella entera ha sido comprimida por su propio peso en un punto minúsculo, y el *big bang*, en el que se supone que todo el universo observable ha sido comprimido en una pepita mucho más pequeña que un simple átomo, ofrecen los dos ejemplos más familiares. Sin una unión satisfactoria entre relatividad general y mecánica cuántica, el final de las estrellas que colapsan y el origen del universo seguirían siendo misteriosos para siempre. Muchos científicos estaban dispuestos a dejar de lado estos dominios, o al menos a no reflexionar sobre ellos hasta que se hubieran superado otros problemas más tratables.

Pero algunos investigadores no podían esperar. Un conflicto en las leyes de la física conocidas significa un fallo para entender una verdad

profunda y eso era suficiente para impedir el descanso de estos científicos. Quienes se sumieron en ello, sin embargo, encontraron las aguas profundas y las corrientes rápidas. Durante largos períodos de tiempo, la investigación hizo pequeños progresos; las cosas parecían poco prometedoras. Incluso así, la tenacidad de aquellos que tuvieron la determinación de permanecer en la carrera y mantener vivo el sueño de unir la relatividad general y la mecánica cuántica está siendo recompensada. Los científicos están ahora recorriendo caminos desbrozados por aquellos exploradores y acercándose a una fusión armoniosa de las leyes de lo grande y lo pequeño. Muchos coinciden en que la mejor candidata para ello es una aproximación conocida como la *teoría de supercuerdas* (capítulo 12).

Como veremos, la teoría de supercuerdas empieza proponiendo una respuesta nueva a una pregunta antigua: ¿cuáles son los constituyentes más pequeños e indivisibles de la materia? Durante muchas décadas, la respuesta convencional ha sido que la materia está compuesta de partículas —electrones y quarks— que pueden ser modeladas como puntos que son indivisibles y que no tienen tamaño ni estructura interna. La teoría convencional afirma, y los experimentos confirman, que estas partículas se combinan de diversas maneras para dar protones, neutrones, y la amplia variedad de átomos y moléculas que forman todo lo que siempre hemos encontrado. La teoría de supercuerdas cuenta una historia diferente. No niega el papel clave desempeñado por electrones, quarks y las otras especies de partículas reveladas por el experimento, pero afirma que estas partículas no son puntos. En lugar de ello, según la teoría de supercuerdas, cada partícula está compuesta de un minúsculo filamento de energía, unos cien trillones de veces más pequeños que un simple núcleo atómico (un tamaño mucho más pequeño que lo que actualmente podemos sondear), que tiene la forma de una pequeña cuerda. E igual que una cuerda de violín puede vibrar con pautas diferentes, cada una de las cuales produce un tono musical diferente, los filamentos de la teoría de supercuerdas también pueden vibrar con pautas diferentes. Estas vibraciones, sin embargo, no producen notas musicales diferentes; lo que la teoría afirma, y esto es extraordinario, es que producen diferentes propiedades de partículas. Una cuerda minúscula que vibra con una pau-

ta tendría la masa y la carga eléctrica de un electrón; según la teoría, semejante cuerda vibrante podría ser lo que tradicionalmente hemos llamado un electrón. Una cuerda minúscula que vibra con una pauta diferente tendría las propiedades exigidas para identificarla como un quark, un neutrón o cualquier otro tipo de partícula. Todas las especies de partículas están unificadas en la teoría de supercuerdas puesto que cada una aparece de una pauta vibratoria diferente ejecutada por la misma entidad subyacente.

Podría parecer que ir de puntos a cuerdas-tan-pequeñas-que-parecen-puntos no es un cambio de perspectiva terriblemente importante. Pero lo es. A partir de estos comienzos humildes, la teoría de supercuerdas combina la relatividad general y la mecánica cuántica en una teoría única y consistente, eliminando las probabilidades perniciosamente infinitas que afligen a las uniones intentadas previamente. Y por si eso no fuera suficiente, la teoría de supercuerdas ha revelado la anchura necesaria para hilvanar todas las fuerzas de la Naturaleza y toda la materia en el mismo tapiz teórico. En resumen, la teoría de supercuerdas es un candidato fundamental para la teoría unificada de Einstein.

Éstas son grandes afirmaciones y, si son correctas, representan un paso adelante trascendental. Pero la característica más sorprendente de la teoría de supercuerdas, una que no dudo que haría latir con fuerza el corazón de Einstein, es su profundo impacto en nuestra comprensión del tejido del cosmos. Como veremos, la fusión que propone la teoría de supercuerdas entre la relatividad general y la mecánica cuántica sólo es razonable matemáticamente si sometemos nuestra idea de espaciotiempo a otro cambio. En lugar de las tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal de la experiencia común, la teoría de supercuerdas requiere nueve dimensiones espaciales y una dimensión temporal. Y, en una encarnación más robusta de la teoría de supercuerdas conocida como *teoría M*, la unificación requiere *diez* dimensiones espaciales y una dimensión temporal —un substrato cósmico compuesto de un total de once dimensiones espaciotemporales—. Puesto que no vemos estas dimensiones extras, la teoría de supercuerdas nos está diciendo que *hasta ahora sólo hemos atisbado una magra rebanada de realidad.*

Por supuesto, la falta de evidencia observacional de dimensiones extras también podría significar que no existen y que la teoría de supercuerdas es errónea. Sin embargo, sacar esta conclusión sería extraordinariamente apresurado. Incluso décadas antes del descubrimiento de la teoría de supercuerdas, científicos visionarios, incluyendo a Einstein, sopesaron la idea de dimensiones espaciales más allá de las que vemos, y sugirieron dónde podrían estar ocultas. Los teóricos de cuerdas han refinado sustancialmente estas ideas y han encontrado que las dimensiones extras podrían estar tan apretadamente estrujadas que son demasiado pequeñas para que las veamos nosotros o cualquiera de nuestros aparatos actuales (capítulo 12), o podrían ser grandes pero invisibles para la forma en que sondeamos el universo (capítulo 13). Cualquiera de estos escenarios tiene profundas implicaciones. Mediante su impacto en las vibraciones de las cuerdas, las formas geométricas de dimensiones minúsculas apretadas podrían tener respuestas para algunas de las preguntas más básicas, tales como por qué nuestro universo tiene estrellas y planetas. Y el lugar que ofrecen grandes dimensiones espaciales extras podría permitir algo aún más extraordinario: otros mundos vecinos, no vecinos en el espacio ordinario sino vecinos en las dimensiones extra, de los que hasta ahora hemos sido completamente inconscientes.

Aunque es una idea atrevida, la existencia de dimensiones extras no es simplemente un castillo en el aire. Puede ser verificable dentro de poco. Si existen, las dimensiones extras pueden llevar a resultados experimentales en la siguiente generación de colisionadores de átomos, como serían la primera síntesis humana de un agujero negro microscópico o la producción de una enorme variedad de nuevas especies de partículas nunca antes descubiertas (capítulo 13). Estos y otros resultados exóticos pueden ofrecer la primera evidencia de dimensiones más allá de las directamente visibles, que nos llevan un paso más cerca de establecer la teoría de supercuerdas como la teoría unificada largo tiempo buscada.

Si la teoría de supercuerdas se prueba correcta estaremos obligados a aceptar que la realidad que hemos conocido es tan sólo una gasa delicada que cubre el tejido cósmico grueso y de rica textura. A pesar de la declaración de Camus, determinar el número de dimensiones es-

paciales —y, en particular, descubrir que no hay sólo tres— proporcionaría mucho más que un interesante detalle científico pero en definitiva intrascendente. El descubrimiento de dimensiones extras mostraría que la totalidad de la experiencia humana nos había dejado completamente ignorantes de un aspecto básico y esencial del universo. Afirmaría que incluso estas características del cosmos que hemos pensado que son fácilmente accesibles a los sentidos humanos no tienen por qué serlo.

Realidad pasada y realidad futura

Con el desarrollo de la teoría de supercuerdas los investigadores se sienten optimistas porque finalmente tenemos una herramienta que no fallará en ninguna circunstancia, por extrema que sea, permitiéndonos un día escudriñar con nuestras ecuaciones y aprender cómo eran las cosas en el mismo momento en que se puso en marcha el universo tal como lo conocemos. Hasta la fecha, nadie ha alcanzado la destreza suficiente con la teoría para aplicarla inequívocamente al *big bang*, pero comprender la cosmología según la teoría de supercuerdas se ha convertido en una de las máximas prioridades de la investigación actual. Durante los últimos años, intensos programas de investigación en cosmología de supercuerdas en todo el mundo han dejado nuevos marcos cosmológicos (capítulo 13), han sugerido nuevas maneras de poner a prueba la teoría de supercuerdas utilizando observaciones astrofísicas (capítulo 14), y han proporcionado algunas de las primeras ideas sobre el papel que puede desempeñar la teoría para entender la flecha del tiempo.

La flecha del tiempo, a través del papel definitorio que desempeña en la vida cotidiana y su íntimo vínculo con el origen del universo, yace en un umbral singular entre la realidad que experimentamos y la realidad más refinada que la ciencia de vanguardia trata de desvelar. Como tal, la cuestión de la flecha del tiempo ofrece un hilo común que corre a lo largo de muchos de los desarrollos que discutiremos, y este hilo aflorará repetidamente en los capítulos que siguen. Esto es adecuado. De los muchos factores que configuran nuestras vidas, el tiem-

po está entre los más dominantes. A medida que sigamos ganando facilidad con la teoría de supercuerdas y su extensión, la teoría M, nuestras ideas cosmológicas se harán más profundas, y arrojarán una luz más precisa sobre el origen del tiempo y su flecha. Si dejamos volar a nuestra imaginación, podemos incluso concebir que la profundidad de nuestra comprensión nos permitirá un día navegar en el espaciotiempo y con ello explorar dominios que, hasta este momento de nuestra experiencia, permanecen mucho más allá de lo que podemos acceder (capítulo 15).

Por supuesto, es extraordinariamente poco probable que alguna vez consigamos ese poder. Pero incluso si nunca alcanzamos esa capacidad de controlar el espacio y el tiempo, una comprensión profunda confiere su propia autoridad. Nuestra comprensión de la verdadera naturaleza del espacio y el tiempo sería un testimonio de la capacidad del intelecto humano. Finalmente llegaríamos a conocer el espacio y el tiempo —los silenciosos y siempre presentes marcadores que delimitan las más remotas fronteras de la experiencia humana.

La mayoría de edad del espacio y el tiempo

Cuando hace muchos años pasé la última página de *El mito de Sísifo* estaba sorprendido por la sensación general de optimismo que se desprendía del texto. Después de todo, un hombre condenado a empujar una roca hasta la cima de una colina con el pleno conocimiento que volverá a rodar hasta abajo, obligándole a empujar de nuevo, no es el tipo de historia que uno espera que tenga un final feliz. Pero Camus encontraba mucha esperanza en la capacidad de Sísifo para ejercer su libre albedrío, para enfrentarse a innumerables obstáculos, y para afirmar su decisión de sobrevivir incluso estando condenado a una tarea absurda dentro de un universo indiferente. Renunciando a todo lo que hay más allá de la experiencia inmediata, y dejando de buscar cualquier tipo de comprensión más profunda o de sentido más profundo, argumentaba Camus, Sísifo triunfa.

Me conmovió la capacidad de Camus para discernir esperanza donde la mayoría de los demás sólo vería desesperación. Pero cuando

era dolescente, y aún más en las décadas posteriores, yo encontré que no podía aceptar la afirmación de Camus de que una comprensión más profunda del universo no haría la vida más rica o más valiosa. Mientras Sísifo era el héroe de Camus, los más grandes de los científicos —Newton, Einstein, Niels Bohr y Richard Feynman— se convirtieron en los míos. Y cuando leí la descripción que hacía Feynman de una rosa —donde explicaba que él podía sentir la fragancia y la belleza de la flor tan bien como cualquiera, pero que su conocimiento de la física enriquecía enormemente la experiencia porque también podía incluir la maravilla y magnificencia de los procesos subatómicos, atómicos y moleculares subyacentes— quedé enganchado para siempre. Quería lo que Feynman describía: valorar la vida y experimentar el universo en todos los niveles posibles, no sólo en aquellos que han resultado ser accesibles a nuestros frágiles sentidos humanos. La búsqueda de la comprensión más profunda del cosmos se convirtió en la pasión de mi vida.

Como físico profesional, hace tiempo que he comprendido que había mucha ingenuidad en mi encaprichamiento con la física en el instituto. Los físicos no pasan sus días de trabajo en general contemplando flores en un estado de sobrecogimiento cósmico. En lugar de ello, dedicamos mucho de nuestro tiempo a bregar con ecuaciones matemáticas complicadas garabateadas en pizarras repletas. El avance puede ser lento. Ideas prometedoras llevan, en la mayoría de los casos, a ninguna parte. Así es la naturaleza del progreso científico. Pese a todo, incluso durante períodos de progresos mínimos, he descubierto que el esfuerzo dedicado a devanarme los sesos y calcular sólo me hace sentirme en más íntima conexión con el cosmos. He descubierto que uno puede conocer el universo no sólo resolviendo sus misterios sino también sumergiéndose en ellos. Las respuestas son grandes. Las respuestas confirmadas por los experimentos son aún más grandes. Pero incluso las respuestas que en última instancia se muestran erróneas representan el resultado de un compromiso profundo con el cosmos —un compromiso que arroja una luz intensa sobre las preguntas, y con ello sobre el propio universo—. Incluso cuando la roca asociada con una exploración científica concreta rueda hasta abajo, aprendemos algo y nuestra experiencia del cosmos se enriquece.